

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCION VEGETAL**



“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”

**Trabajo de diploma**

USO DEL CLOROFILOMETRO SPAD-502 PARA DIAGNOSTICAR LA DEFICIENCIA DE NITROGENO EN SORGO (*sorghum bicolor* L. Moench) DE LA LINEA ICSVLM-92512 BAJO DIFERENTES DOSIS DE NITROGENO EN LA FINCA EL PLANTEL. ZAMBRANO, MASAYA.

**AUTORES**

**Br. José René Montoya Ruiz**

**Br. Norman Orlando Ordóñez Largaespada**

Presentado a la consideración del honorable tribunal examinador como requisito parcial, para optar al grado profesional de INGENIERO AGRÓNOMO GENERALISTA

**Managua, Febrero 2009**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCION VEGETAL**



“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”

**Trabajo de diploma**

USO DEL CLOROFILOMETRO SPAD-502 PARA DIAGNOSTICAR LA DEFICIENCIA DE NITROGENO EN SORGO (*sorghum bicolor* L. Moench) DE LA LINEA ICSVLM-92512 BAJO DIFERENTES DOSIS DE NITROGENO EN LA FINCA EL PLANTEL. ZAMBRANO, MASAYA.

**AUTORES**

**Br. José René Montoya Ruiz**

**Br. Norman Orlando Ordóñez Largaespada**

**ASESOR:**

**Ing. MSc. Leonardo García Centeno**

**Manágua, Febrero 2009**

## ÍNDICE GENERAL

SECCIÓN	PÁGINA
Índice general	i
Índice de tablas	ii
Índice de figuras	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Resumen	vi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>4</b>
3.1 Descripción del sitio experimental	4
3.1.1 Ubicación	4
3.1.2 Clima	4
3.1.3 Característica del suelo	5
3.2 Metodología experimental	5
3.2.1 Descripción del diseño y los tratamientos	5
3.2.2 Variables evaluadas	6
3.2.3 Análisis Estadístico	7
3.3 Manejo agronómico	8
3.4 Característica del material utilizados	8
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>9</b>
4.1 Variables evaluados durante el crecimiento del cultivo	9
4.1.1 Altura de planta (cm)	9
4.1.2 Diámetro del tallo (mm)	10

4.1.3	Número de hojas por planta	10
4.1.4	Contenido relativo de clorofila	11
4.2	Variables evaluadas al momento de la cosecha	15
4.2.1	Longitud de raquis (cm)	15
4.2.2	Longitud de panoja (cm)	16
4.2.3	Biomasa seca (kg ha <sup>-1</sup> )	17
4.2.4	Rendimiento de grano(kg ha <sup>-1</sup> )	17
4.2.5	Nitrógeno en el grano (%)	18
4.2.6	Nitrógeno en la biomasa aérea (%)	19
4.2.7	Acumulación de nitrógeno en la Biomasa (kg ha <sup>-1</sup>	20
4.2.8	Acumulación de nitrógeno en el grano(kg ha <sup>-1</sup> )	21
4.3	Uso eficiente de la fertilización nitrogenada	22
4.3.1	Eficiencia del uso del nitrógeno por el grano (kg de grano/ kg de N absorbido)	22
4.3.2	Eficiencia del uso del nitrógeno por la biomasa (kg de biomasa/ kg de N absorbido)	23
4.3.3	Incremento del rendimiento del grano por kilogramo de nitrógeno aplicado(kg de grano/ kg N aplicado)	24
4.4	Análisis de correlación del contenido de clorofila	25
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	27
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	28
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	29

## INDICE DE TABLAS

TABLA. N°	PÁGINA
1. Análisis químico del suelo. Zambrano, 2005	5
2. Descripción de los tratamientos en estudios	5
3. Resultados de altura de planta (cm). Zambrano 2005	9
4. Resultados del diámetro del tallo (mm). Zambrano 2005.	10
5. Resultados del número de hoja por planta (cm) .Zambrano, 2005.	11
6. Resultados del ANDEVA sobre los contenidos relativos de clorofila para cada uno de los factores estudiados	12
7. Resultado de la comparación de medias por tratamiento. Zambrano, 2005	13
8. Resultado de la comparación de medias entre las hojas. Zambrano, 2005	13
9. Resultado de la comparación de medias entre las posiciones de la hoja. Zambrano, 2005.	14
10. Resultado de la comparación de medias entre los días después de la siembra. Zambrano, 2005	14
11. Separación de medias para la variable longitud de raquis (cm). Zambrano 2005.	16
12. Resultados de la separación de media en la variable longitud de panoja (cm). Zambrano 2005.	16
13. Producción de biomasa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Zambrano 2005.	17
14. Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Zambrano 2005.	18
15. Incremento del rendimiento de grano por kg de N aplicado.	25
16. Correlación entre tratamiento, hojas y sus partes contra el porcentaje de nitrógeno, rendimiento de biomasa, grano y nitrógeno final en la biomasa	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA N°</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Promedios mensuales de precipitación (mm) y temperaturas (°C), registrados durante el experimento .El plantel, 2005.	4
2. Contenidos relativos de clorofila (valores SPAD) en función del tiempo de muestreo	15
3. Contenido de nitrógeno en el grano (%) por tratamientos.	19
4. Contenido de nitrógeno (%) en la biomasa por tratamiento	20
5. Acumulación de nitrógeno en la biomasa para los tratamientos en estudios.	21
6. Acumulación de nitrógeno en el grano por tratamiento.	22
7. Eficiencia del uso de nitrógeno por el grano.	23
8. Eficiencia del uso de nitrógeno por la biomasa.	24

## DEDICATORIA

A **Dios** primeramente, ya que sin él nada podemos hacer. Gracias por darnos fortaleza, sabiduría y vida.

A mis padres **Candida Rosa Ruiz** y **Thomas Montoya**, por estar con migo en todo momentos, brindándome apoyo, por su motivación de saber que sí podía alcanzar la meta de ser un profesional, por sus consejos.

A mis hermanos. **Mercedes, Xiomara, Francisca, Maria Jesús, Thomas, Douglas** y **Elizabeth Montoya Ruiz** por darme fortaleza y muchas ganas de coronar mi carrera de Ingeniero Agrónomo.

A mis sobrinos: **Aura, Yeltsin, Karina, Linda, Loydis, Hazael, Estaniel, Roxana, Estrellita, Allan, Analia, Hilita** y en especial a **Hilcia Elizabeth López Montoya** que descansa en eterna paz.

A **Urrs Lenina Izaguirre Delgado**, mi amiga una persona que me ha brindado su mano en los momentos que más he necesitado de ayuda gracias.

A **Don Daniel** y **Dona Yolanda**, ya que siempre me brindaron su apoyo, muchas gracias

A mi novia **Yolanda del Carmen Izaguirre Delgado**, una persona muy especial que ha estado con migo en todo momento, por ser mi anhelo de superación de cada día, por sus sonrisas, por brindarme su mano en los momentos más difíciles de mi vida.

**José René Montoya Ruiz**

## DEDICATORIA

A **Dios** primeramente, ya que sin él nada podemos hacer. Gracias por darnos fortaleza, sabiduría y vida.

A mis padres **Celan y Perla Ordóñez**, mis hermanas **Perla Victoria, y Maria Gabriela** por sus ejemplos, guías, sabiduría y fuerza.

A mi esposa **Bethy Mercado** y mi hija **Victoria Sophia** por su ayuda y bendición de tenerlas en mi vida.

A mis sobrinitos **Alexandra Sophia y Jacob Xavier** por la alegría que nos brindan,

A nuestros amigos que nos apoyaron en todo.

**Norman Orlando Ordóñez Largaespada**



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a **Dios** por darnos fuerza, sabiduría y motivación para culminar nuestra carrera como Ingenieros Agrónomos.

Al programa **INTSORMIL**, por financiar nuestro tema de investigación.

Al **Ing. MSc. Leonardo García Centeno** por brindarnos su apoyo, confianza y asesoramiento durante el proceso de investigación.

A los docentes **Dr. Oscar Gómeze** e **Ing. MSc. Álvaro Benavides** que nos brindaron su ayuda en todos los momentos.

Agradezco la ayuda de mi prima **Dra. Marcela Eugarríos**.

A la **FACULTAD DE AGRONOMIA** y a todos sus docentes en general que de alguna u otra manera nos ayudaron en la elaboración de este documento

A nuestra alma mater por habernos proporcionado los medios necesarios para la realización de nuestro trabajo investigativo y formarnos como profesionales.

A todos nuestros amigos por estar con nosotros en cada momento ayudándonos de manera positiva en nuestra investigación.

A nuestros familiares que siempre estuvieron con nosotros brindándonos su apoyo e instruyéndonos por el buen camino.

Le agradecemos de todo corazón a todas nuestras amistades que de una u otra forma contribuyeron en nuestra formación profesional.

**José René Montoya Ruiz**

**Norman Orlando Ordóñez**

## RESUMEN

El estudio se realizó durante la época de postrera, en la finca experimental el Plantel propiedad de la Universidad Nacional Agraria (U.N.A), ubicada en el municipio de Zambrano, en el km. 40 de la carretera Tipitapa – Masaya, departamento de Masaya. El plantel esta ubicado a una altura de 200 msnm y sus coordenadas corresponden a 12° 06´ de latitud norte y 86° 04´ de longitud oeste. El suelo es de textura franco-arcilloso. Se utilizó un diseño en bloques completo al azar (BCA), en arreglo unifactorial con cuatro replicas. Se evaluaron las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada (0, 37, 66 y 96 kg N ha<sup>-1</sup> y un tratamiento con frijol mungo), se aplicó como fertilización de fondo en los tratamientos con fertilizante completo (12-30-10) y urea a los 45 dds. Se utilizó el clorofilometro SPAD-502 para evaluar la deficiencia del nitrógeno a partir de lecturas relativas del contenido de clorofila en sorgo (línea ICSVLM-92512). Los resultados mostraron que no hubo diferencia estadística significativa para las variables, altura de planta, diámetro del tallo y número de hoja. El contenido de clorofila fue mayor en el tratamiento 3 al cual se le aplicó 66 kg N ha<sup>-1</sup>. El mejor momento de tomar las lecturas SPAD para estimar los rendimientos de biomasa y grano a los 60 dds, en la hoja uno. Para las variables evaluadas al momento de la cosecha (variables de rendimiento) se encontró que hubo efecto significativo en longitud de panoja, biomasa seca, rendimiento de grano, nitrógeno en biomasa y eficiencia del uso del nitrógeno. En el análisis de correlación del contenido de clorofila, se encontró una alta correlación entre el parámetro rendimiento de grano, porcentaje de N en biomasa al momento de la cosecha, a los 60 dds y en el contenido relativo de clorofila en la hoja uno.

## I. INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum* Spp.) es un género de unas 20 especies de gramíneas oriundas de las regiones tropicales y subtropicales de África oriental. Se cultivan en zonas tales como, Europa, América y Asia como cereal para consumo humano, animal, en la producción de forrajes, y para la elaboración de bebidas alcohólicas. Su resistencia a la sequía y el calor lo hace un cultivo importante en regiones áridas, y es uno de los cultivos alimentarios más importantes del mundo (Anónimo).

A pesar de que el 67% del área de la producción total nacional es de sorgo blanco, los rendimientos de 2 259 kg ha<sup>-1</sup> (35qq/mz) no son del todo beneficioso para los productores, por lo que se debe buscar otra opción que den respuesta no solo a los bajos rendimientos, sino también a la demanda interna de este cereal (MAGFOR, 2006).

Según el INTA (1995), las regiones II, III y IV correspondientes a los departamentos de León, Chinandega, Managua, Masaya, Granadas y Rivas son las más apropiadas para la producción de sorgo. Sus características climáticas, precipitación y temperatura son los factores que hacen de estos sitios los más adecuados.

Fontaneto (2001), indica que los sistemas productivos que tratan de optimizar la producción de granos, tienen en la eficiencia de la fertilización con nitrógeno una de las principales herramientas. Su importancia radica en que el fertilizante nitrogenado permite lograr incrementos de rendimientos significativos, cuando otros tópicos que hacen al manejo del cultivo se emplean en forma eficiente.

Sin un adecuado nivel de fertilidad de suelo que puede satisfacer la demanda del cultivo durante sus etapas críticas, se hace necesario usar fertilizantes sintéticos u orgánicos para alcanzar rendimientos que sean rentables. La fertilización adecuada de un cultivo, involucra el uso de la clase apropiada del fertilizante aplicado, en la cantidad óptima y en el lugar correcto, en la forma más eficiente y en el momento más oportuno. Los fertilizantes se deben aplicar donde el sistema radical los puede absorber fácilmente. Los fertilizantes solubles en agua deben aplicarse más lejos de la semilla para evitar daños severos a estas.

La aplicación en bandas, restringe el contacto entre el fertilizante y el suelo a través del tiempo, reduce la fijación, aumenta la disponibilidad, ubica los elementos nutrientes al alcance de las raíces y deja menos fertilizantes al alcance de las malezas (Compton, 1990).

El nitrógeno es el elemento mineral que requiere mayor atención en el manejo de la mayoría de los sistemas agrarios debido a que limita la producción de bs cultivos. La complejidad de su ciclo hace difícil planificar su disponibilidad para las plantas y las aplicaciones excesivas o inadecuadas pueden provocar disminución de la producción y problemas de contaminación del medioambiente, resultado del lavado de nitratos y emisiones gaseosas (Domingo, 2007).

Las cantidades de nitrógeno absorbido por los cereales alimenticios supera la de cualquier otro nutriente, su movilidad en la fase líquida y gaseosa puede ser causa de importantes pérdidas de este nutriente. El agricultor debe conocer, por tanto, no solo la cantidad total de nitrógeno que el cultivo necesita, sino también el período en el que más se absorbe para lograr su utilidad máxima (FAO, 1995).

Según Domingo (2007), los medidores de clorofilas son herramientas útiles para realizar un adecuado seguimiento de la nutrición nitrogenada y decidir si es necesaria una dosis suplementaria de nitrógeno para incrementar el rendimiento y la concentración de nitrógeno en el grano. La predicción del rendimiento final debe realizarse a partir del estado fenológico donde aparezca la hoja bandera para garantizar una buena eficiencia del fertilizante aportado.

Por todo lo antes mencionado se condujo al presente estudio con el objetivo de evaluar el comportamiento de la línea ICSVLM-92512 bajo diferentes dosis de nitrógeno, haciendo uso de mungo en uno de los tratamientos y utilizando el clorofilometro SPAD-502 para estimar el contenido de clorofila en las hojas del sorgo que pueda estar asociado a la deficiencia de nitrógeno.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Evaluar el uso del clorofilometro SPAD-502 para diagnosticar la deficiencia del nitrógeno en sorgo de la línea ICSVLM-92512 bajo diferentes dosis y fuentes de fertilización nitrogenada.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Evaluar el crecimiento y rendimiento del sorgo según las diferentes dosis y fuente de nitrógeno.
- ❖ Determinar el rendimiento de biomasa y grano bajo las dosis y fuentes de nitrógeno evaluadas.
- ❖ Evaluar el uso eficiente de nitrógeno sobre las variables de biomasa seca y rendimiento de grano.
- ❖ Evaluar el uso del clorofilometro como herramienta para diagnosticar deficiencia de nitrógeno.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Descripción del sitio experimental

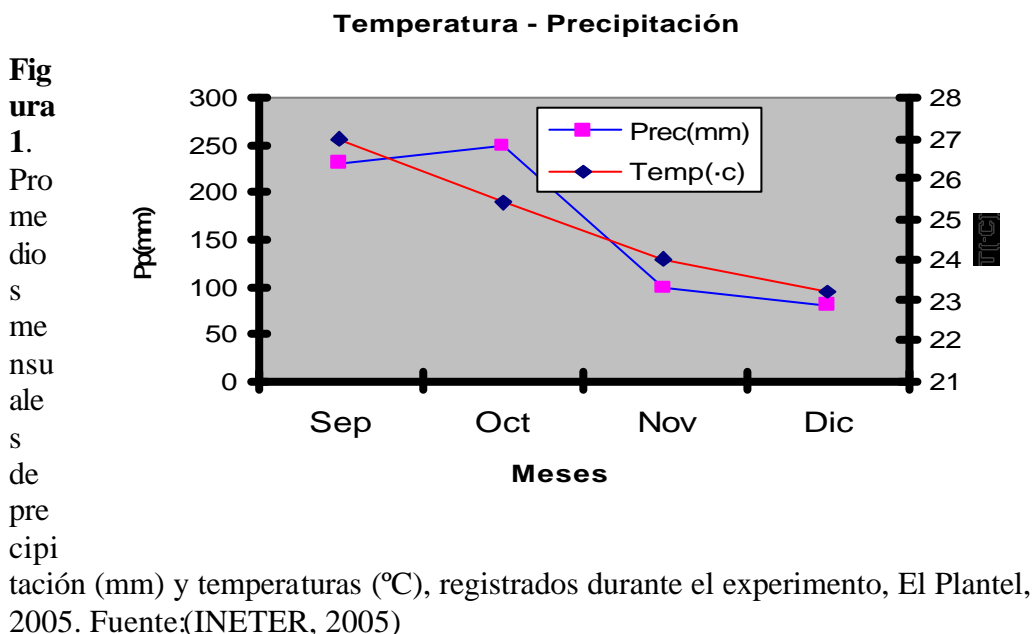
##### 3.1.1 Ubicación

El estudio se realizó en la época de postrera (Septiembre a Diciembre), en la finca experimental El Plantel propiedad de la U.N.A, ubicada en el municipio de Zambrano, en el km.40 carretera Tipitapa – Masaya, departamento de Masaya. El plantel está ubicado a una altura de 200 msnm en las coordenadas de 12° 06' latitud norte y 86° 04' longitud oeste. Esta zona ecológica corresponde a una zona transicional entre bosque tropical seco y bosque tropical húmedo (Chávez y Mendoza, 2000).

##### 3.1.2 Clima

En la zona donde se realizó el ensayo, la precipitación anual oscila entre 1000 y 2000 mm. La temperatura media es de 26 °C. En la mitad del período lluvioso (Julio-Agosto), se observa un mínimo estival conocido como Canícula, iniciándose generalmente en la tercera semana de julio y finalizando en la segunda semana de agosto INETER (2005).

La figura 1 muestra la temperatura y precipitación durante el periodo del cultivo en la zona de estudio.



##### 3.1.3 Características del suelo

Los suelos de la finca El Plantel, se clasifican dentro del orden de los molisoles y se caracterizan por ser suelos de origen volcánico, profundo a moderadamente superficiales, bien drenados, con buena permeabilidad. La topografía del sitio es ligeramente ondulada, hay un alto contenido de materia orgánica y pH ligeramente básico MAG, (1971). Los resultados del análisis de suelo se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1. Análisis químico del suelo. Zambrano, 2005**

pH	M.O	N	P	K	Ca	Mg	CIC	Textura
H <sub>2</sub> O	%		ppm	meq/100 g suelo				Franco arcilloso
7.2	2.82	0.14	0.16	1.85	18.2	6.48	18.14	

**Fuente:** Laboratorio de Suelo y Agua. (UNA, 2005).

### 3.2 Metodología experimental

#### 3.2.1 Descripción del diseño y los tratamientos

El diseño experimental utilizado fué en Bloques Completamente Al azar (BCA) en arreglo unifactorial con cuatro repeticiones. En total se evaluaron cinco tratamientos los cuales se distribuyeron aleatoriamente. La distancia entre surco fue de 0.8 m, cada parcela tenía 5 m de largo por 4 m de ancho, se utilizaron 5 surcos por parcela considerándose los 3 surcos centrales como parcela útil, los bloques tenían dimensiones de 100 m<sup>2</sup>. El área total del experimento fue de 460 m<sup>2</sup>. La tabla 2 muestra las distintas dosis nitrogenadas por tratamiento.

**Tabla 2. Descripción de los tratamientos en estudio**

Tratamientos	Descripción
1	Sin fertilizante ( testigo absoluto)
2	37 kg N ha <sup>-1</sup>
3	66 kg N ha <sup>-1</sup>
4	96 kg N ha <sup>-1</sup>
5	fríjol mungo( <i>vigna radiata</i> ) incorporado a los 45dds

#### 3.2.2 Variables evaluadas

Durante la primera fase vegetativa (EC1) y la segunda fase (EC2) se muestrearon cinco plantas tomadas de manera al azar por parcela útil. En ellas se evaluaron las siguientes variables:

#### **Altura de planta (cm)**

Esta se registro desde la superficie del suelo hasta el cuello de la última hoja formada, con intervalos de quince días a partir de los 30 hasta los 75 días después de la siembra (dds) haciendo uso de cinta métrica.

#### **Diámetro del tallo (cm)**

Se midió en la parte media de la longitud de los tallos utilizando un Vernier. Estas se realizaron en los mismos períodos que para altura de planta.

#### **Número de hojas por planta**

Se tomaron aquellas que presentaron el collar foliar visible desde abajo hacia arriba, la medición de esta variable fue tomada en cuatro momentos, a los 30, 45, 60 y 75 dds.

#### **Medición relativa del contenido de clorofila**

Contenido de clorofila en las hojas (valores SPAD). Para la medición de esta variable se hizo uso del medidor de clorofila minolta, SPAD-502, en los diferentes momentos de muestreo (30, 45, 60, 75 y 90 dds). En cada parcela experimental se seleccionaron tres plantas al azar. En cada planta se seleccionaron tres hojas y se les asignó un número para facilitar el análisis estadístico. La primera hoja que se seleccionó fue la hoja 2 (h2) siendo ésta la última hoja superior con el cuello formado, la hoja inmediatamente superior se designó como hoja 1 (h1) y hoja 3 (h3) es la hoja inmediatamente inferior a h2. El resultado de cada lectura es expresado en valores SPAD. El aparato contiene una lámina que se utiliza para la calibración antes de realizar las mediciones en el campo.

En cada hoja se realizaron tres mediciones, en la parte apical, media y basal de la hoja, seguidamente, estas hojas fueron extraídas del área experimental y se empacaron en bolsas kraft debidamente identificadas (bloque, réplica y tratamiento al que pertenecen) para ser llevadas al laboratorio de suelos y aguas de la U.N.A. para el análisis de nitrógeno correspondiente.

#### **Variables evaluadas al momento de la cosecha**

##### **Longitud de la panoja (cm)**

De una muestra de 10 panojas por parcela útil se midió la longitud desde la base hasta el ápice de la panoja con una cinta métrica.

##### **Longitud de raquis (cm)**

Se midió desde la base de la panoja hasta la primera ramilla con una cinta métrica

##### **Biomasa ( $\text{kg ha}^{-1}$ )**



Al momento de la cosecha se tomaron los tres surcos de la parcela útil. Se registró el dato del peso fresco y luego se secaron a 65° C por 72 horas y otra vez se tomaron datos de peso seco, luego se realizó el cálculo para determinar el valor en kg ha<sup>-1</sup>

#### **Rendimiento del grano (kg ha<sup>-1</sup>)**

Se cosecharon los tres surcos de la parcela útil. La cosecha se realizó manualmente. El grano cosechado fue secado, pesado y ajustado al 14 % de humedad.

#### **Nitrógeno en la biomasa (%)**

De la biomasa cosechada, se tomó una muestra de 500 g. Luego se trituraron, homogenizaron y molieron, y mediante el método semi – micro Kjeldhal se determinó el contenido de nitrógeno.

#### **Nitrógeno en el grano (%)**

Del grano cosechado se tomó una muestra de 20 g para determinar la concentración de nitrógeno mediante el método semi-micro Kjeldhal.

#### **Uso eficiente de nitrógeno**

Después de recopilados los datos de rendimiento de grano y biomasa con sus debidos porcentajes de nitrógeno, se procedió al cálculo de eficiencia de nitrógeno en grano, en biomasa y el incremento del rendimiento de grano por kg de nitrógeno aplicado, mediante las siguientes formulas:

$$NUE\ 1 = \frac{\text{Rendimiento de grano (kg ha}^{-1}\text{)} + \text{Rendimiento de rastrojo (kg ha}^{-1}\text{)}}{N\ \text{en grano} + N\ \text{en rastrojo (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

$$NUE\ 2 = \frac{\text{Rendimiento de grano (kg ha}^{-1}\text{)}}{N\ \text{en grano} + N\ \text{en rastrojo (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

$$IRG/\text{kg N} = \frac{\text{kg ha}^{-1}\ \text{grano producido C/N} - \text{kg ha}^{-1}\ \text{grano producido S/N}}{37\ \text{kg N ha}^{-1}\ (\text{varia según la dosis})}$$

NUE1: Eficiencia de uso del N por la biomasa

NUE2: Eficiencia de uso del N por el grano

IRG /kg N: Incremento del rendimiento de grano por kg de N aplicado

C/N: con nitrógeno

S /N: sin nitrógeno

### **3.2.3 Análisis estadístico**

Los datos provenientes de las variables de crecimiento en la planta de sorgo, los componentes del rendimiento y valores relativos de clorofila fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) y prueba de rangos múltiples por tukey al 95 % de confianza y la diferencia mínima significativa, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS,1991).

Los datos (valores relativos de clorofila) obtenidos mediante el SPAD-502 se correlacionaron con las variables de nitrógeno determinado en cada momento de muestreo y otras variables de rendimiento.

### **3.3 Manejo agronómico**

La preparación del suelo se realizó mecánicamente, consistió de un pase de arado, dos pases de grada y el rayado para luego proceder a la siembra. La siembra se realizó manualmente a chorrillo el primero de septiembre del año 2005, a los 15 dds se realizó un raleo para obtener una densidad poblacional de aproximadamente 132,500 plantas ha<sup>-1</sup>

La cosecha se efectuó de forma manual al completar el ciclo biológico del cultivo, como indicador de madurez fisiológica se consideró el desprendimiento del grano al tacto.

### **3.4 .Características del material utilizado**

La línea de sorgo evaluada fue la ICSVLM-92512, cuyo origen corresponde al programa; ICSVLM que significa en inglés: ICRISAT, Sorghum Variety Latin American Program y los primeros dos dígitos indican el año en que fue generada la línea y los últimos tres dígitos el número de código, el cual es correlativo según se genera.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Variables evaluadas durante el crecimiento del cultivo

#### 4.1.1 Altura de la planta (cm)

La altura de la planta de sorgo es un parámetro importante, ya que es un indicador de la velocidad de crecimiento. Está determinada por la elongación del tallo al aumentar en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis, lo que a su vez son translocados al grano durante el llenado del mismo. Además está fuertemente influenciado por las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa, cantidad y calidad de luz (Cuadra, 1998).

Morales (2002), plantea que la altura de la planta del sorgo es una característica esencial para determinar el uso de una variedad de sorgo. Alturas de 160 a 170 cm. son recomendadas para la cosecha mecanizada. Alturas mayores traen inconveniente en la cosecha mecanizada. Esto se debe a que las máquinas cosechadoras son construidas para cosechar cultivos de predeterminada altura.

El análisis de varianza (ANDEVA), realizado para la variable altura de planta, demostró que el incremento en la dosis de fertilizante nitrogenado no tiene efecto sobre esta variable. Los resultados fueron no significativos para las 4 fechas estudiadas. El tratamiento 5 (mungo), no se diferencia de los tratamientos con fertilizantes nitrogenados (tabla 3).

Valle y Toledo (2003), obtuvieron resultados menores de 54.40 cm. A los 60 dds Herrera y García (2004), obtuvieron resultados de 69.5 cm por debajo de los nuestros. Las diferencias entre estos estudios probablemente se deben a factores ambientales. Según Compton (1990), la altura es controlada por factores genéticos, pero la escasez de agua y falta de nutrientes restringe el crecimiento.

**Tabla 3. Resultados de altura de planta (cm). Zambrano 2005.**

Tratamiento	30 dds	45 dds	60 dds	75 dds
Sin fertilizante	34.20	66.01	109.48	138.03
37 kg N ha <sup>-1</sup>	33.75	66.19	110.35	138.40
66 kg N ha <sup>-1</sup>	34.15	66.70	108.60	138.44
96 kg N ha <sup>-1</sup>	33.60	66.25	108.90	139.10
Fríjol mungo	34.15	66.04	108.94	138.95
CV%	6.50	14.00	10.14	7.09
ANDEVA	NS	NS	NS	NS

#### 4.1.2 Diámetro del tallo (mm)

Las cañas o tallos, están formados de una serie de nudos y entrenudos, es delgado y muy vigoroso. El tallo mide 5 cm de grosor cerca de la base, volviéndose mas angosto en el extremo superior. En cuanto a su consistencia, el tallo es solidó, con una corteza o tejido exterior duro y una medula suave (Somarriba, 1998).

Cuadra (1998), plantea que el diámetro del tallo tiene importancia para la obtención de altos rendimientos. Ésta característica es influenciada por factores genéticos, factores ambientales y la densidad de población de plantas usadas. El diámetro del tallo confiere fuerza a la planta para que ésta resista el acame.

El análisis estadístico (ANDEVA) al 95% de confianza, indica que no hay efecto significativo en la fertilización y fuente nitrogenada sobre esta variable en las 4 fechas estudiadas. Los resultados pueden apreciarse en la tabla 4.

Valle y Toledo (2003), utilizando la misma línea obtuvieron un promedio de 12.3 mm; Ponce y Leiva (2007), obtuvieron resultados de 13.0 mm, estos fueron menores que los nuestros. Esta variable según (Cuadra, 1998), puede verse influenciado por factores genéticos, factores ambientales y la densidad poblacional de plantas usadas.

**Tabla 4. Resultados del diámetro del tallo (mm). Zambrano 2005.**

Tratamiento	(30dds)	(45dds)	(60dds)	(75dds)
Sin fertilizante	9.9	10.5	11.7	13.0
37 kg N ha <sup>-1</sup>	8.8	10.7	11.0	12.1
66 kg N ha <sup>-1</sup>	9.2	10.1	11.8	13.3
96 kg N ha <sup>-1</sup>	9.3	10.3	12.3	13.7
Fríjol mungo	9.0	10.7	11.4	12.5
CV%	5.54	21.80	14.80	10.67
ANDEVA	NS	NS	NS	NS

#### 4.1.3 Número de hojas por planta

Los principales órganos para la realización de la fotosíntesis en la planta son las hojas y la concentración de nutrientes en la misma influyen en el crecimiento y rendimiento del cultivo. La planta de sorgo se diferencia una de otras en cuanto a su número de hojas. Estas varían entre 7 y 24 hojas, según la variedad y longitud del tallo (Compton, 1990).

El ANDEVA al 95% de confianza muestra que en todas las fechas evaluadas el efecto de la fertilización nitrogenada no fue significativo. Esto sugiere que el mungo aporta cantidades de nitrógeno similares al suministrado por el fertilizante sintético (tablas 5).

Valle y Toledo (2003), obtuvieron resultados muy similares al de este estudio realizado y con la misma línea, en promedio de 10 hojas por plantas. Evaluando la misma línea, en San Ramón, Matagalpa, Manzanares y Calero (2004), obtuvieron resultados menores con 9 hojas por planta. Según Compton (1990), el número de hojas producidas es controlado mayormente por la genética, por condiciones ambientales y densidades poblacionales. Deducimos que Manzanares y Calero (2004), obtuvieron resultados menores que los nuestros debido a que la temperatura es mayor en el plantel y esto favorece el crecimiento.

**Tabla 5. Resultados del número de hojas por planta. Zambrano 2005.**

Tratamiento	Número de hoja (30dds)	Número de hoja (45dds)	Número de hoja (60dds)	Número de hoja (75dds)
Sin fertilizante	2	4	9	11
37 kg N ha <sup>-1</sup>	2	4	9	11
66 kg N ha <sup>-1</sup>	3	5	9	11
96 kg N ha <sup>-1</sup>	2	5	10	12
Fríjol mungo	2	4	9	11
CV%	11.93	11.56	9.12	6.11
ANDEVA	NS	NS	NS	NS

#### 4.1.4 Contenido relativo de clorofila

Según Somarriba (1998), el nitrógeno es necesario para la síntesis de clorofila, y juega un papel importante en el proceso de la fotosíntesis.

Según Salas *et al.* (1998), de las diversas metodologías existentes para diagnosticar las necesidades ó requerimientos de fertilización, la medición de intensidad de verde de clorofila, surge como una alternativa factible, pues a diferencia de otros métodos (determinaciones de N en planta y suelo) que involucran análisis de laboratorio, este es un método simple y de resultados inmediatos.

Una herramienta alternativa al análisis foliar es el uso del clorofilometro SPAD-502, el que entrega el valor correspondiente al contenido relativo de clorofila en las hojas y se puede utilizar para estimar el estado de nitrógeno en la planta.

El medidor de clorofila es una herramienta de diagnostico portátil, que estima en forma instantánea el contenido relativo de este compuesto en las hojas, sin destruir el tejido. Este valor se calcula en base a la luz transmitida por la hoja en dos longitudes de onda, en las cuales la absorbancia de luz (que es inversamente proporcional a la reflectancia) es diferente.

La clorofila es el contenido general de los pigmentos verdes de las hojas estrechamente relacionado entre sí, que tiene en común la capacidad de absorber energía lumínica y pasarla a otras moléculas en forma de excitaciones de electrones. (Compton, 1990).

Entre los complejo orgánicos importante, hay que destacar a la clorofila, que es la base de la fotosíntesis al ser capaz de emitir electrones, cuando es excitada por la luz (Domínguez 1997).

Ortega (2002), indica que las mediciones pueden ser alteradas por los factores genéticos, las variedades o híbridos que pueden tener por definición genética, distintos tonos de verdes. Factores ambientales como: temperatura, humedad, luminosidad y tipo de suelo influyen en el verdor de las hojas. Los factores de estrés como: estrés hídrico, presencia de enfermedades y deficiencias nutricionales pueden afectar también los valores SPAD.

Una ventaja de la medición del contenido de clorofila, es que está no está influenciada por el consumo de lujo de N por la planta bajo la forma de nitrato Blackmer y Schepers, (1995). Para Dwyer *et al.* (1995), esto se debe a la baja sensibilidad del medidor de clorofila al consumo de lujo de N por la planta y atribuida a la forma en que ese nutriente se encuentra en la hoja, pues cuando el nitrógeno es absorbido en forma de nitrato, este no se asocia a la molécula de clorofila y por lo tanto no puede ser detectado por el medidor de clorofila.

El fundamento de la metodología consiste en chequear durante el ciclo del cultivo, el nivel de nitrógeno en la planta, que refleja la “oferta” o disponibilidad edáfica. Esto se consigue en forma indirecta al medir la intensidad del verde, que está estrechamente asociada al contenido de clorofila y ésta a su vez a la concentración de nitrógeno en las hojas.

El ANDEVA general al 95% de confianza para los valores relativo de clorofila con el SPAD-502 indicó que existe diferencia altamente significativa entre los factores bajo estudio y casi nula interacción entre estos (tabla 6). Las separaciones de medias para los mismos factores se presentan en la tabla 7, 8,9 y 10.

**Tabla 6. Resultados del ANDEVA sobre los contenidos relativos de clorofila para cada uno de los factores estudiados**

<b>Efecto</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Semana	1394.41	<.0001
Trat	78.77	<.0001
Hoja	1047.69	<.0001
trat*hoja	26.45	<.0001
Pos	0.17	0.8446
trat*pos	0.49	0.8612
trat*hoja*pos	0.53	0.9551
trat*hoja*pos*semana	16.32	<.0001

La separación de medias para tratamientos, (tabla 7), mostró que los valores SPAD más altos (32.8) correspondieron al tratamiento T3 con 66 kg N ha<sup>-1</sup> y sin diferencias estadística con la aplicación de 96 kg N ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 7. Resultado de la comparación de medias por tratamiento. Zambrano, 2005**

Tratamiento	Promedio SPAD	Valores promedios SPAD por tratamientos				
		Sin fertilizante 28.8	37 kg N ha <sup>-1</sup> 27.6	66 kg N ha <sup>-1</sup> 32.8	96 kg N ha <sup>-1</sup> 30.8	Fríjol mungo 28.2
Sin fertilizante	28.8		**	ns	**	*
37 kg N ha <sup>-1</sup>	27.6			**	**	**
66 kg N ha <sup>-1</sup>	32.8				**	*
96 kg N ha <sup>-1</sup>	30.8					**
Fríjol mungo	28.2					

Respecto ala hoja seleccionada para muestrear (tabla 8), se determinó que la hoja uno (h1) obtuvo mayor concentración relativa de clorofila con un valor de 32.16 de valor SPAD y que se correspondió con la mayor aplicación de nitrógeno, así mismo el análisis mostró que no importa la posición que se seleccione, aunque la literatura sugiere hacerlo en la parte media o basal de la hoja, lo cual es aconsejable si consideramos que los síntomas de deficiencia de nitrógeno empiezan desde la zona apical hacia la basal de la hoja (Ver tabla 9).

**Tabla 8. Resultado de la comparación de medias entre las hojas. Zambrano, 2005**

Hoja	Promedio SPAD	Valores promedio SPAD Hojas		
		Hoja 1 32.16	Hoja 2 29.3	Hoja 3 27.3
Hoja 1	32.16		**	**
Hoja 2	29.3			**
Hoja 3	27.3			

**Tabla 9. Resultado de la comparación de medias entre las posiciones de la hoja. Zambrano, 2005.**

Posición	Promedio SPAD	Valores promedio SPAD por Posición		
		Apical 29.5	Media 29.6	Basal 29.6
Apical	29.5		ns	ns
Media	29.6			ns
Basal	29.6			

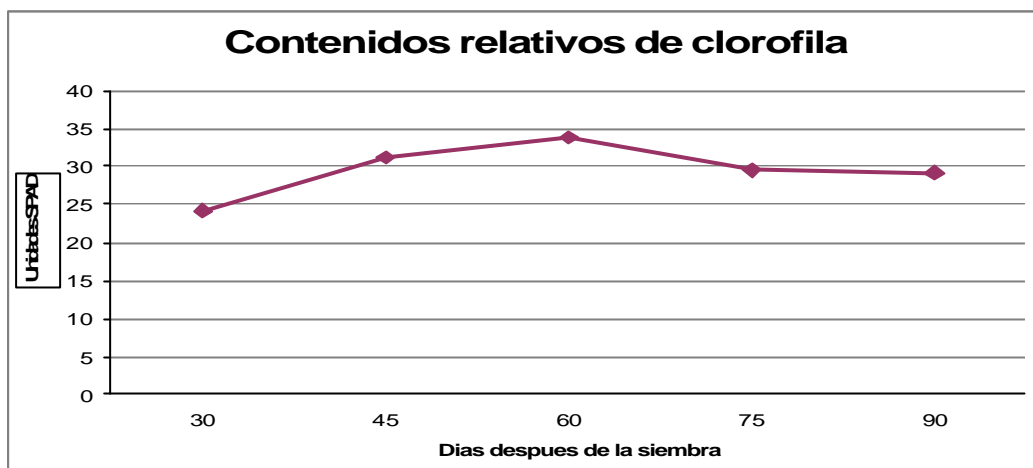
Respecto del tiempo de medición (tabla 10) del contenido relativo de clorofila, los resultados mostraron también, que los valores SPAD mas altos se obtienen a los 60 dds (33.5), después de ese tiempo, los valores relativos de clorofila tienden a disminuir, lo cual puede coincidir con una disminución de la absorción de nitrógeno y por ende con una menor traslocación hacia las hojas. Este aspecto es importante por que podría estar indicando que mediciones realizadas después de los 60 dds podrían no ser oportunas para diagnosticar deficiencias de nitrógeno.

**Tabla 10. Resultado de la comparación de medias entre los días después de la siembra. Zambrano, 2005**

dds	Promedio SPAD	Valores promedio SPAD por dds				
		30 dds 24.3	45 dds 31.3	60 dds 33.5	75 dds 29.9	90 dds 29
30	24.3		**	**	**	**
45	31.3			**	**	**
60	33.5				**	**
75	29.9					**
90	29					

La separación de medias también mostró, que los valores SPAD (contenido relativo de clorofila) están influenciado por la edad de la planta pues estos variaron entre 24 y 33 unidades SPAD, como valores promedios sin considerar la hoja ni la posición en la hoja. Es importante resaltar que los valores promedios por semana se incrementaron desde la primera toma de datos hasta la tercera y tendió a disminuir en las dos últimas fechas de muestreo (Figura 2).





**Figura 2.** Contenidos relativos de clorofila (valores SPAD) en función de tiempo.

## 4.2 Variables evaluadas al momento de la cosecha

### 4.2.1 Longitud de raquis (cm)

La longitud del raquis inicia a partir de la hoja bandera y termina en la primera ramilla de la panoja. Las líneas con intervalos de 5 a 10 cm de longitud del raquis son aceptables, aunque lo recomendable es que sean mayores para no tener inconveniente en la incorporación de material indeseable en la cosecha que tiene influencia en la calidad del grano (Espinosa, 1992).

El ANDEVA para la longitud de raquis demostró que la fertilización nitrogenada ejerce efecto altamente significativo sobre esta variable. La separación de medias por la prueba de rangos múltiples de Tukey reveló tres categorías estadísticas. El tratamiento 4 presentó mayor longitud de raquis con respecto a los restantes. El tratamiento 5 (mungo) obtuvo resultados estadísticamente iguales al tratamiento 3 al aplicar 66 kg. N. /ha. Esto indica que el aporte de nitrógeno por el mungo es significativo y adecuado para el desarrollo del cultivo. Ver tabla 11.

Ponce y Leiva (2007), utilizando la misma línea obtuvieron resultados de 11.8cm, estos fueron inferiores a los obtenidos en esta investigación. Herrera y García (2004) obtuvieron resultados de 9.9 cm, también superados por los encontrados en el presente estudio. Según Compton (1990), la longitud de raquis está controlada genéticamente, pero factores ambientales adversos como la ausencia del agua puede ejercer efectos pronunciados, también estos resultados revelan que si no se le suministra niveles de nitrógeno adecuado esta variable puede estar afectada negativamente.

**Tabla 11. Separación de medias para la variable longitud de raquis (cm). Zambrano 2005.**

Tratamiento	Longitud del raquis(cm)
96 kg N ha <sup>-1</sup>	18.25 a
66 kg N ha <sup>-1</sup>	16.40 b
Frijol mungo	16.00 b
37 kg N ha <sup>-1</sup>	14.25 c
Sin fertilizante	12.75 c
ANDEVA	**
CV%	4.91

#### 4.2.2. Longitud de panoja (cm)

Según León (1987), la panoja es una continuación del eje vegetativo, esta puede ser compacta o suelta según la distancia entre las ramillas, y la posición puede ser erecta o curva. La longitud de la panoja es un componente fundamental del rendimiento del grano y está en dependencia de los factores ambientales y nutricionales en que se desarrolla el cultivo.

El ANDEVA para la variable longitud de panoja mostró que existe efecto significativo debido a la fertilización nitrogenada. La separación de medias por la prueba de rangos múltiples de Tukey reveló dos categorías estadísticas, el tratamiento 3 (66 kg N ha<sup>-1</sup>) obtuvo mayor longitud de panoja mientras que los tratamientos restantes resultaron estadísticamente iguales, el tratamiento 5 (mungo) obtuvo valores estadísticos iguales, es decir que la planta está aprovechando el nitrógeno aportado por esta leguminosa. Los resultados se presentan en la tabla 12.

En estudios realizados por Herrera y García (2004) utilizando la misma línea pero aplicando 37 kg N ha<sup>-1</sup>, obtuvieron resultados superiores con respecto a esta investigación presentando un promedio de 35.7 cm. Deducimos que las diferencias que existen entre los estudios pudieron ser debido a las precipitaciones, las cuales en el 2004 se distribuyeron más homogéneas y promediaron cerca de 250 mm, en tanto que en el periodo de la investigación, las precipitaciones se mantuvieron entre 50 y 250 mm y con distribución irregular.

**Tabla 12. Resultados de la separación de media en la variable longitud de panoja (cm). Zambrano 2005.**

Tratamiento	Longitud de panoja(cm)
66 kg N ha <sup>-1</sup>	19.25 a
96 kg N ha <sup>-1</sup>	16.50 b
Sin fertilizante	16.00 b
37 kg N ha <sup>-1</sup>	15.50 b
Frijol mungo	15.50 b
ANDEVA	**
CV%	3.31

#### 4.2.3 Biomasa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Según INTA (1999), los tallos y el follaje que produce el sorgo se utilizan como alimento para el ganado en época seca, siendo la materia seca producida importante para el ganado en lugares y tiempos de escasez.

Casi todas las variables de sorgo aumentan de peso aproximadamente entre los 34 a 38 días después de la antesis; que es el momento en que se registra el máximo nivel de peso. La tasa máxima de acumulación de materia seca se registra entre los 8 y 14 días después de la antesis (Álvarez y Talavera, 1990). El área foliar se reduce al aumentar la población, debido a la competencia por espacio físico, luz y nutrientes. Las altas densidades poblacionales aumentan el rendimiento de forraje (biomasa seca), pero reduce la calidad y cantidad de grano. Las altas concentración de nitrógeno incrementan el desarrollo del área foliar, por esta razón la cantidad de materia seca aumenta. La biomasa también es influida por las densidades poblacionales (Compton, 1990).

El ANDEVA revela que existe efecto significativo entre los tratamientos y la producción de biomasa seca. La diferencia mínima significativa (DMS) indica la presencia de 4 categorías estadística. El tratamiento 4 con  $96 \text{ kg N ha}^{-1}$  obtuvo mayor rendimiento de biomasa seguido de los tratamientos 2 y 3 con 37 y  $66 \text{ kg N ha}^{-1}$  respectivamente. Esto es lógico, pues se mantiene la tendencia de aumentar la biomasa en la medida que se aumenta la aplicación de N. Ver tabla 13

Valle y Toledo (2003), con la misma línea (ICSVLIM-92512) obtuvieron rendimientos promedios de  $3,560 \text{ kg ha}^{-1}$  en la misma zona. Los rendimientos de Herrera y García (2004) para la misma línea, fueron de  $4,318 \text{ kg ha}^{-1}$ . Todo los antes mencionado pudo haber estado más influenciado por factores climáticos.

**Tabla 13. Producción de biomasa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Zambrano 2005.**

Tratamiento	Biomasa seca
$96 \text{ kg N ha}^{-1}$	10 987.79 a
$37 \text{ kg N ha}^{-1}$	9 091 b
$66 \text{ kg N ha}^{-1}$	8 328 c
Frijol mungo	7 351 d
Sin fertilizante	7 018 d
CV %	3.98
DMS	529.6
ANDEVA	**

#### 4.2.4. Rendimiento de grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

El rendimiento del grano es la producción expresada en kg por unidad de área ( $\text{ha}^{-1}$ ). El desarrollo de la panoja desde su iniciación hasta la antesis, es muy importante en la determinación del rendimiento final ya que el límite más alto respecto al número de grano se establece durante este período (Compton, 1990). Espinosa, (1992),

plantea que para obtener buen rendimiento de granos, las líneas deben tener características agronómicas adecuadas, tales como panoja semiabiertas y longitud superior a los 30 cm. Estas características no solo aumenta el rendimiento del grano, sino también la calidad.

El sorgo tiene un potencial de rendimiento que pueden llegar a superar los 11, 000 kg ha<sup>-1</sup>; con rendimientos promedios entre (7, 000 y 9, 000 kg ha<sup>-1</sup>), cuando la humedad no es un factor limitante. En áreas donde es un cultivo común sostiene rendimientos de 3,000 a 4,000 kg ha<sup>-1</sup> bajo buenas condiciones y bajan a 1,000 y a 300 kg/ha<sup>-1</sup> cuando la humedad se vuelve limitante (House, 1982). Para las condiciones edafoclimáticas de nuestro país el rendimiento promedio es de 2,259 kg ha<sup>-1</sup> (MAGFOR, 2006). Este bajo rendimiento es a causa de un mal manejo agronómico de muchos productores. La mayoría de los pequeños productores no utilizan semillas mejoradas y usan inadecuadamente los fertilizantes.

El análisis estadístico (ANDEVA) al 95% de confianza, mostró efecto altamente significativo de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano. La diferencia mínima significativa (DMS), indica la presencia de cinco categorías. El tratamiento 4 (96 kg N ha<sup>-1</sup>) se comportó estadísticamente superior a todos, presentando el mayor rendimiento de grano con 3, 778 kg ha<sup>-1</sup>, el tratamiento 5 (mungo) obtuvo el tercer rendimientos más alto lo que evidencia que la disponibilidad de N para la planta proveniente de la descomposición del mungo es considerable (Tabla 14).

**Tabla 14. Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>). Zambrano 2005.**

<b>Tratamiento</b>	<b>(kg ha<sup>-1</sup>)</b>
96 kg N ha <sup>-1</sup>	3 778 a
66 kg N ha <sup>-1</sup>	3 340 b
Frijol mungo	2 608 c
37 kg N ha <sup>-1</sup>	1 984 d
Sin fertilizante	1 247 e
CV %	8.31
DMS	332.11
Significancia	**

Manzanares y Calero, (2004) reportan rendimiento de grano de 2,595 kg ha<sup>-1</sup> haciendo uso de la misma línea pero con una fertilización menor (37 kg N ha<sup>-1</sup>). En este experimento con una fertilización de 96 kg N ha<sup>-1</sup> ese rendimiento fue superado en 1,193 kg ha<sup>-1</sup>, indicando que esta línea responde muy bien a la fertilización nitrogenada.

#### **4.2.5. Nitrógeno en el grano (%)**

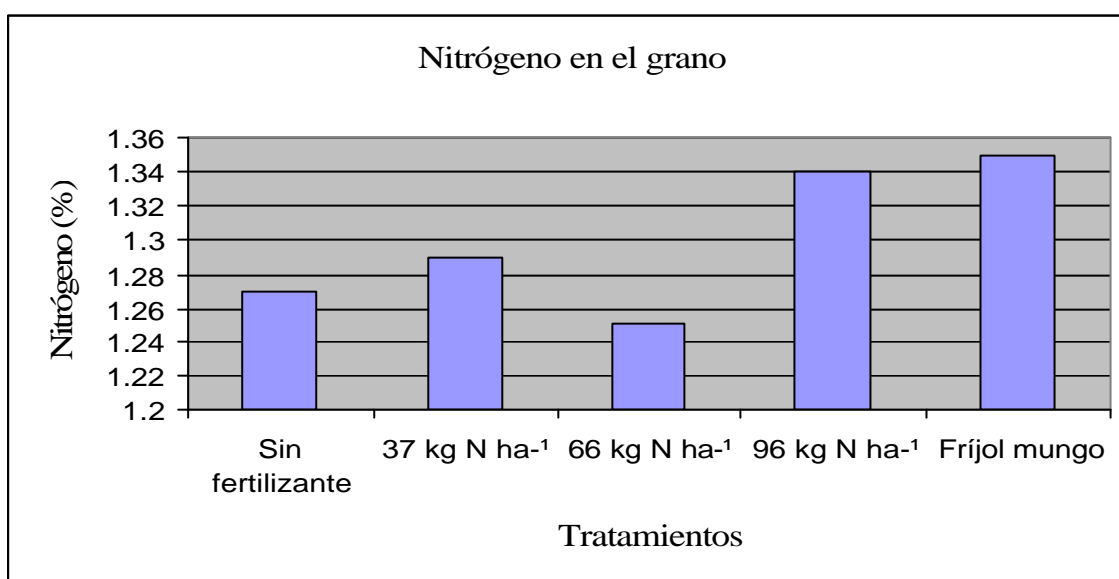
El nitrógeno juega un papel importante en las plantas, en los cereales su influencia la ejerce aumentando el número de granos por espiga y el peso de los granos. Salmerón y García (1994). El contenido de nitrógeno en el grano depende de varios factores

entre ellos la capacidad de la planta para traslocar el nitrógeno de su parte vegetativa a la semilla durante el desarrollo de la misma (Carlson, 1990).

Según el ANDEVA para esta variable, no se encontró diferencias significativas, sin embargo, los tratamientos 4 y 5 con  $96 \text{ kg ha}^{-1}$  y mungo respectivamente fueron los que presentaron los valores más altos de nitrógeno 1.35 % (promedio), ver figura 3.

Tales resultados fueron similares a los de Ponce y Leiva (2007) quienes reportaron valores de 1.4 % de nitrógeno y los obtenidos por Herrera y García (2004), que fueron de 1.6% de nitrógeno.

Lo que indica que esta línea tiene una alta capacidad de absorber nitrógeno del suelo (N - nativo) y de traslocar el nitrógeno al grano. El porcentaje de nitrógeno más bajo se reportó para el tratamiento 3.



**Figura 3.** Contenido de nitrógeno en el grano (%) por tratamientos

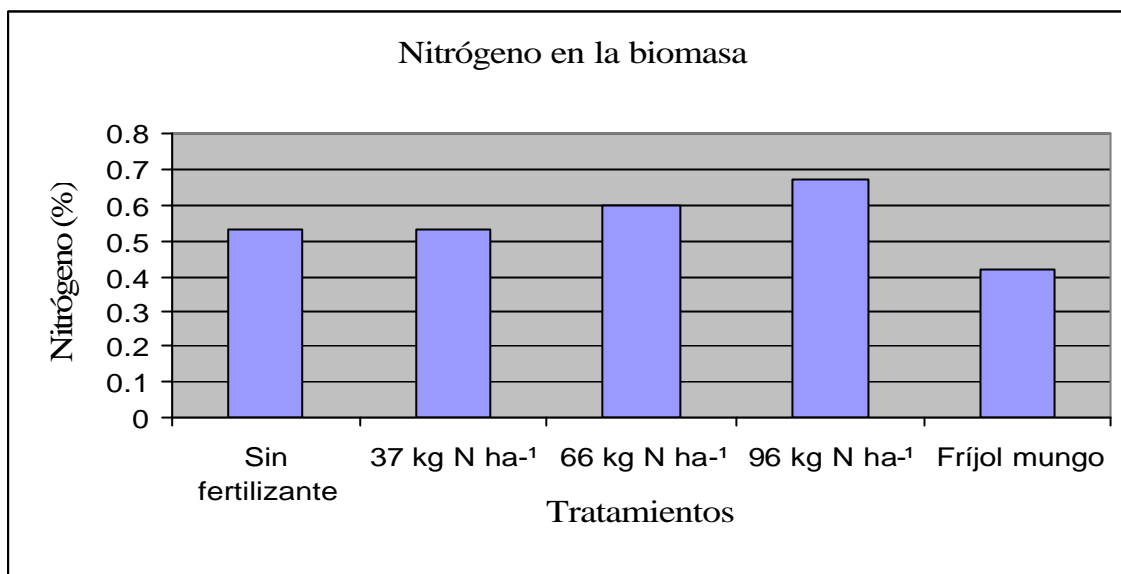
#### 4.2.6 Nitrógeno en la biomasa aérea (%)

El nitrógeno permite el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta, no solo por estar involucrado en la captación de la energía solar, sino también en la distribución y síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular (Villalobos, 2001).

Según Fuentes (1994), el nitrógeno en menor proporción en relación al contenido total, también se encuentra en las plantas en forma de N-orgánico, y N-inorgánico aumentando esta proporción cuando se presentan anomalías en el metabolismo que dificulta la síntesis de proteínas.

Los contenidos promedios de nitrógeno en biomasa al momento de la cosecha se muestran en la figura 4. El ANDEVA para esta variable no encontró diferencias entre los tratamientos.

Estos resultados fueron comparados con los de Ponce y Leiva (2007), que fueron de 0.4% de nitrógeno en la biomasa, con los de Herrera y García (2004), que reportaron valores de 0.62%, muy similares a los obtenidos en el presente estudio.



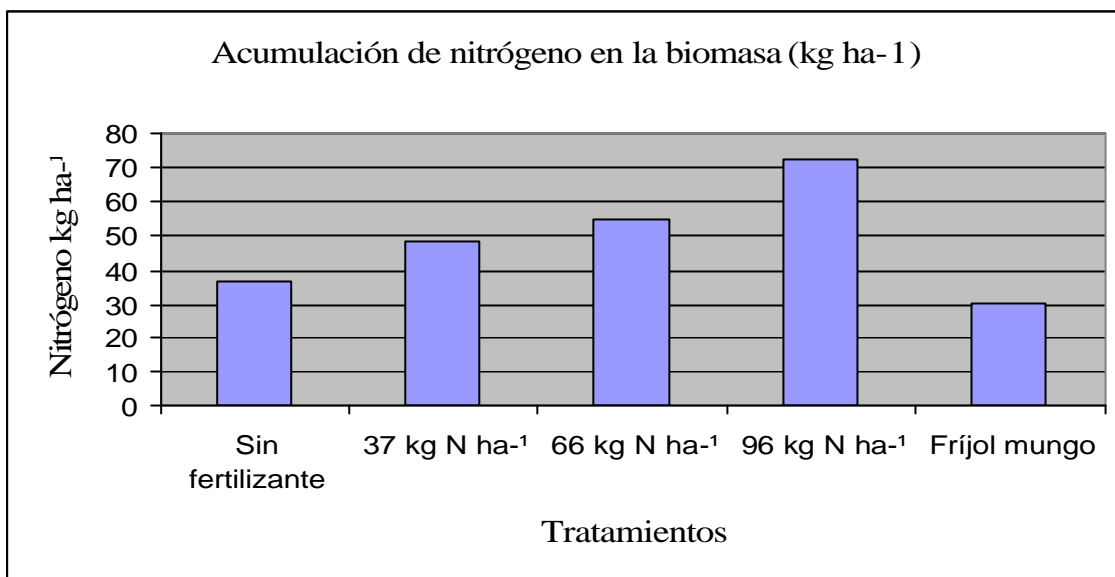
**Figura 4.** Contenido de nitrógeno (%) en la biomasa por tratamientos.

#### 4.2.7 Acumulación de nitrógeno en la biomasa (kg N ha<sup>-1</sup>).

En los tejidos jóvenes, el nitrógeno se encuentra en porcentajes elevados 2.5 a 3.5 % con respecto a tejidos maduros. A medida que la planta avanza en edad, aumenta la proporción de celulosa y el porcentaje de nitrógeno en la materia seca disminuye, incrementándose la relación C/N (Demolòn ,1975).

De acuerdo a los promedios por tratamiento (figura 5) la aplicación de 96 kg N ha<sup>-1</sup> (T4) presentó una mayor acumulación de N con 72.7 kg ha<sup>-1</sup> y los tratamiento con menores acumulación de nitrógeno en la biomasa fueron los tratamientos 1 y 5. La diferencia entre el testigo y mungo se deben fundamentalmente a la cantidad de biomasa que se produjo con la aplicación de fertilizante y no al porcentaje de nitrógeno contenido en la biomasa, que fue similar entre estos tratamientos (Ver figura 5).

Herrera y García, (2004), reportaron valores de 31 kg ha<sup>-1</sup> de acumulación de nitrógeno en la biomasa con la aplicación de 37 kg N ha<sup>-1</sup>.



**Figura 5.** Acumulación de nitrógeno en la biomasa para los tratamientos en estudios.

#### 4.2.8 Acumulación de nitrógeno en el grano (kg ha<sup>-1</sup>).

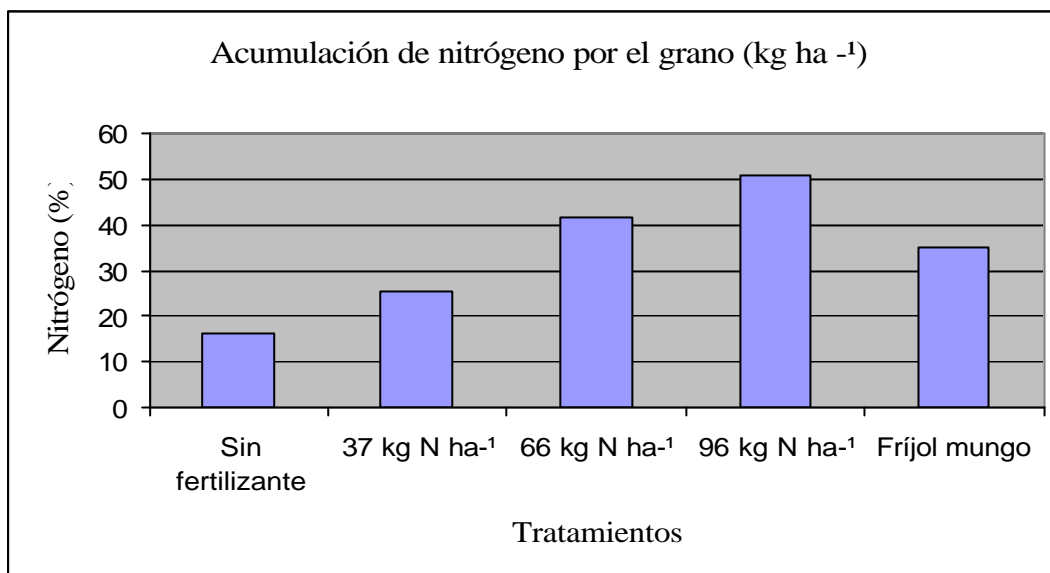
La planta de sorgo exige una constante y bien distribuida aplicación de nitrógeno, desde la siembra hasta el llenado del grano, ya que esta lo demanda para crecer, elaborar sus reservas y formar sus semillas (Somarriba, 1998).

La eficiencia de absorción de nitrógeno en la producción de grano requiere que aquellos procesos asociados con: la absorción, translocación, asimilación, y la redistribución de nitrógeno, estén operando efectivamente en la producción de este elemento. (ISCA, 1984).

Según los promedios mostrados en la figura 6, el tratamiento 4 presentó una mayor acumulación de nitrógeno con 50.73 kg ha<sup>-1</sup> seguido por el tratamiento 3 con 41.9 kg ha<sup>-1</sup> y por último el tratamiento 1 con 15.9 kg ha<sup>-1</sup>. El ANDEVA para esta variable mostró que todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes.

Es importante señalar que para esta variable, el tratamiento con mungo superó en nitrógeno acumulado en grano al tratamiento que recibió 37 kg N ha<sup>-1</sup> y muy similar al de 66 kg de N, por lo que ésta se ubica como una buena fuente de N para el sorgo.

Ponce y Leiva (2007) reportaron como valor acumulado 30.2 kg ha<sup>-1</sup> de N acumulado, Herrera y García, (2004) reportaron como valor acumulado 32.7 kg ha<sup>-1</sup> de N acumulado, muy por debajo de los obtenidos en este estudio. La misma grafica nos presenta que la tendencia del comportamiento de la acumulación es la que comúnmente se obtiene cuando se aplican dosis crecientes de nitrógeno.



**Figura 6.** Acumulación de nitrógeno en el grano por tratamiento.

### 4.3 Uso eficiente de la fertilización nitrogenada

La eficiencia en la utilización de fertilizantes consiste en una medición cuantitativa de la absorción real de los nutrientes del fertilizante por la planta en relación con la cantidad de nutrientes que añade el suelo. Según Hardarson, (1990), el cultivo responde a la aplicación de nutrientes tales como el nitrógeno cuando el suelo tiene deficiencia de este nutriente

Un análisis de eficiencia de uso de nutrientes debe enfatizar la respuesta del cultivo en cuanto a producción de grano por unidad de nitrógeno absorbido en la planta, o eficiencia fisiológica (Bock, 1984).

El contenido de nitrógeno en la biomasa aumenta a medida que incrementa las aplicaciones de nitrógeno. Si se excede en las concentraciones de nitrógeno las plantas adquieren un gran desarrollo aéreo, y las hojas toman una coloración verdosa muy oscura. Causando un retraso en la maduración y afectando la calidad del grano de forma negativa (Fuentes, 1994).

#### 4.3.1 Eficiencia del uso del nitrógeno por el grano (kg de grano/ kg de N absorbido)

El cultivo responde a la aplicación de nutrientes como el nitrógeno cuando el suelo tiene deficiencia de este elemento por tanto, es esencial garantizar que el cultivo absorba la mayor cantidad del fertilizante aplicado (Hardarson, 1990).

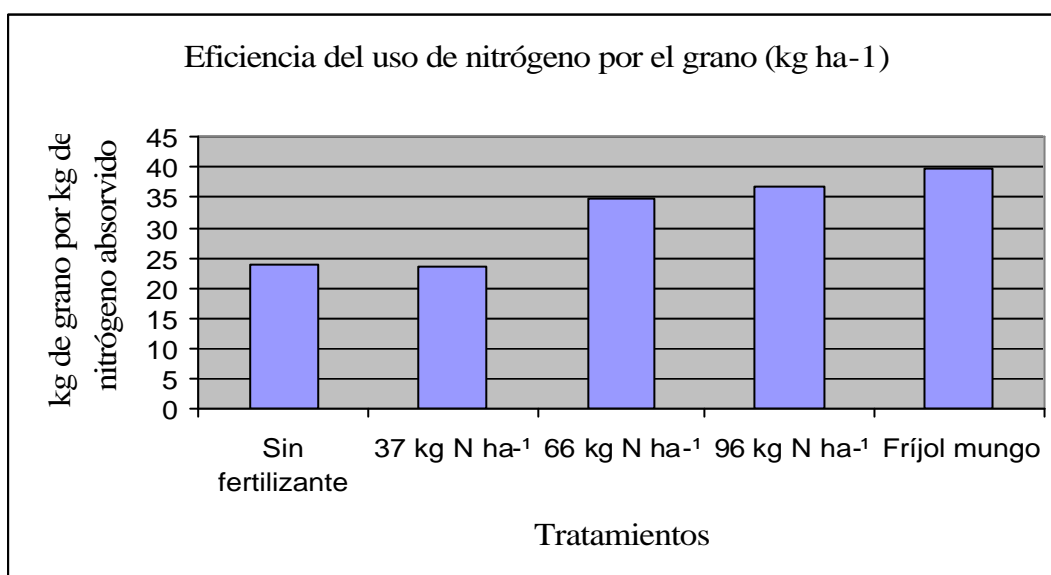
Las practicas de fertilización, tales como las fuentes, el momento, la colocación, y sus interacciones en diferentes sistemas agrícolas ayudan a lograr mayores niveles de eficiencia (FAO, 1995).



Los resultados mostrados en la figura 7 indican que, la mayor eficiencia del uso de nitrógeno en el grano se obtuvo en el tratamiento 5 (mungo) con  $26.9 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido del tratamiento 4 con  $25.3 \text{ kg ha}^{-1}$ . El ANDEVA para esta variable mostró que estadísticamente los tratamientos 3, 4 y 5 son iguales y diferentes del resto de tratamientos.

Ponce y Leiva (2007), obtuvieron resultados superiores a los de este estudio, en el mismo sitio con una eficiencia del uso de nitrógeno por el grano de  $51 \text{ kg ha}^{-1}$ ; Herrera y García, (2004), reportaron  $79 \text{ kg ha}^{-1}$  con la dosis  $37 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Es importante señalar que la tendencia en la eficiencia es a aumentar en la medida que se aumenta la cantidad de N aplicada, lo que indica que esta línea responde de manera positiva a las aplicaciones de N, pero también pone de manifiesto que el mungo es una fuente importante de nitrógeno.



**Figura 7.** Eficiencia del uso de nitrógeno por el grano.

#### 4.3.2 Eficiencia del uso del nitrógeno por la biomasa (kg de biomasa/ kg de N absorbido)

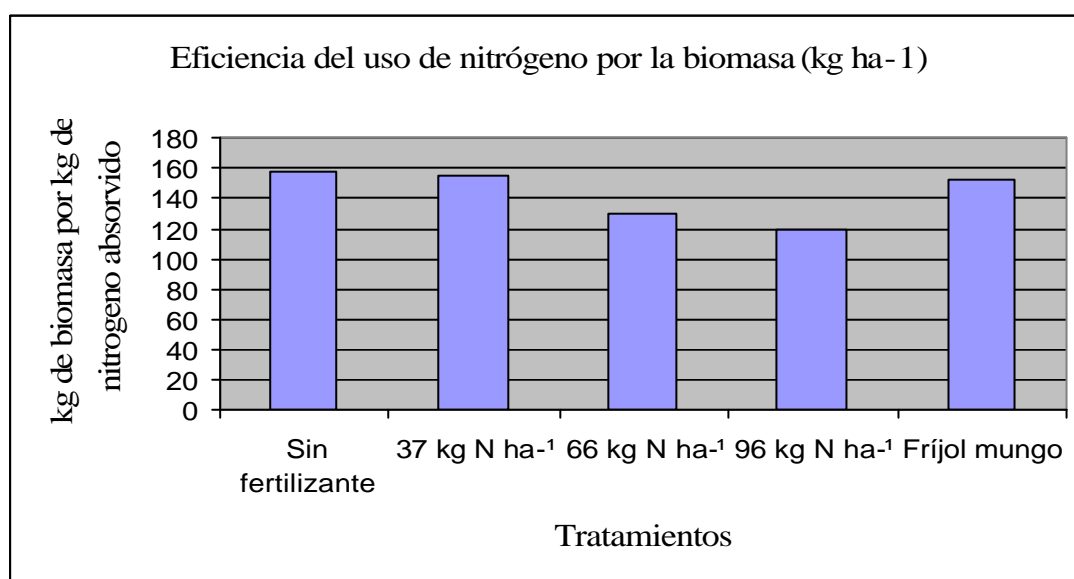
La eficiencia del fertilizante nitrogenado incrementa cuando se realizan aplicaciones complementarias después de la emergencia lo que produce mayor respuesta del fertilizante por la planta al obtener mayores rendimientos de nitrógeno por unidad de nitrógeno aplicado (Lang y Mallet, 1987).

Según Fuentes (1994), el nitrógeno es esencial para todos los procesos vitales de la planta. Si la planta adquiere poco nitrógeno, el desarrollo de las hojas será pobre, dando lugar a una maduración acelerada con frutos pequeños y escasa calidad de follaje, traducándose en rendimientos bajos.

En la figura 8, se muestran los resultados obtenidos sobre la eficiencia del uso de nitrógeno en la biomasa; se observa que el tratamiento 1 fue el que alcanzó la mayor eficiencia con respecto a los otros tratamientos con 158 kg ha<sup>-1</sup> de biomasa por kilogramo de nitrógeno absorbido, el tratamiento 5 (mungo) presentó una eficiencia del uso de nitrógeno por la biomasa de 153 kg ha<sup>-1</sup>, esto permite afirmar la importancia que puede tener el uso de mungo como fuente alternativa de nitrógeno, sobre todo para los pequeños productores. También estos resultados muestran que para la producción de altos rendimientos es clave la cantidad de biomasa aérea que produzca la planta, pues el tratamiento con mungo, aunque no presentó la mayor acumulación de nitrógeno en la biomasa, la alta producción de biomasa hace que este tratamiento sea el segundo en eficiencia de nitrógeno por la biomasa.

Los tratamientos en los que se aplicó nitrógeno tienden a presentar valores menores debido a que las acumulaciones de nitrógeno por la biomasa son mayores, lo que hace que la eficiencia disminuya de acuerdo a la ley de los aumentos decrecientes.

Resultados similares a los de este estudio fueron reportados por Ponce y Leiva, (2007) con una eficiencia para la biomasa de 122 kg ha<sup>-1</sup>, por su parte Herrera y García, (2004) reportaron un valor más bajo de 58.7 kg ha<sup>-1</sup> para la misma línea pero utilizando una cantidad de 37 kg N ha<sup>-1</sup>, que se corresponde al tratamiento 2 de este estudio.



**Figura 8.** Eficiencia del uso de nitrógeno por la biomasa.

#### 4.3.3 Incremento del rendimiento de grano por kg de nitrógeno aplicado (kg de grano/ kg N aplicado)

Según Youngquist *et al.* (1992), el uso eficiente del nitrógeno también es definido como el rendimiento del grano por unidad de nitrógeno en la planta a la maduración.

Para Urquiaga y Zapata (2000), la eficiencia de recuperación de la fertilización nitrogenada utilizada por las plantas (ERNF), expresa la proporción de nitrógeno aplicado

como fertilizante ( $N - \text{Fertilizante}$ ) que fue recuperado (absorbido) por determinado cultivo o variedad (genotipo).

Los resultados para esta variable (tabla 15) muestran que el mayor incremento de rendimiento respecto del testigo vario entre 59 y 203 %, alcanzándose el valor mas alto con el tratamiento 4 ( $96 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ).

El mayor incremento de grano por kilogramo de N aplicado fue de  $32 \text{ kg ha}^{-1}$  para el tratamiento 3 ( $66 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) el incremento de la aplicación ( $96 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) mantuvo la tendencia a disminuir, es decir, a dosis más alta el incremento disminuye. Este comportamiento es normal, entre mayor es la cantidad de N que se aplica el incremento del rendimiento que se obtiene es cada vez menor, lo que concuerda con lo establecido en la ley de Mitscherlich o ley de los aumentos de decrecientes. Esto también concuerda con Compton (1990), quien dice que el incremento de grano generalmente tiende a disminuir cuando se aplican altas dosis de nitrógeno.

Ponce y Leiva (2007) y Herrera y García (2004) reportaron valores de 25 y  $32 \text{ kg}$  de grano por  $\text{kg}$  de nitrógeno aplicado sucesivamente, para la dosis  $37 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

**Tabla 15. Incremento del rendimiento de grano por  $\text{kg}$  de N aplicado.**

Tratamiento	Rdto. grano $\text{kg ha}^{-1}$	% Respecto testigo	Incremento de rendimiento(IR) $\text{kg de grano /kg de N aplicado}$
1	1247		
2	1984	59	20
3	3340	167.8	32
4	3788	203.7	26
5	2608	109	

Para el caso del tratamiento con mungo, no se calculo el IR debido a que no se cuantificó la cantidad de nitrógeno que se aportó al suelo mediante la biomasa incorporada como fuente de N, sin embargo, es importante notar que este representó un 84 % más de rendimiento que la aplicación de  $37 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

#### **4.4 Análisis de correlación del contenido de clorofila**

Salas, *et al.* (1998), Novoa y Villagran (2002), plantean que la intensidad del color verde de las hojas está directamente relacionada con el contenido de clorofila y con la cantidad de nitrógeno, y que estos a su vez se relacionan directamente con el rendimiento obtenido.

La separación de medias realizada para los valores SPAD (tabla 10) mostró que las mediciones a los 60 dds superaron al resto de tiempos de muestreos. Debido a estos resultados, las correlaciones realizadas para algunos parámetros de rendimiento y los valores SPAD obtenidos, corresponden a las mediciones hechas a los 60 dds.

Los resultados de correlación de Pearson (tabla 16), entre los valores obtenidos con el SPAD-502 y el contenido de nitrógeno en la biomasa a los 60 dds, mostró una alta correlación con las mediciones realizadas en la hoja 1 posición apical y basal, para el resto de hojas y posiciones la significancia disminuye. También existe una correlación significativa del rendimiento de grano con los valores SPAD obtenidos en las hojas 1 y 2 parte media y basal.

Respecto al parámetro rendimiento de biomasa, no se encontró correlación con los valores SPAD. Para el porcentaje de N de la biomasa a la cosecha, es importante resaltar que este parámetro presento correlaciones positiva con los valores SPAD independientemente de la hoja y la posición que se determine, esto es importante por que de alguna manera pone de manifiesto esa relación que existe entre el contenido de clorofila y el nitrógeno en la hoja, lo cual es positivo por que indica que el uso del clorofilo metro puede ayudar a diagnosticar deficiencias de nitrógeno en la planta.

**Tabla 16. Correlación entre tratamiento, hojas y sus partes contra el porcentaje de nitrógeno, rendimiento de biomasa, grano y nitrógeno final en la biomasa.**

	trt	h1ap	h1md	h1bs	h2ap	h2md	h2bs	h3ap	h3md	h3bs
N3	-0.25821 0.0005	0.26868 0.0003	0.32280 <.0001	0.29417 <.0001	0.33314 <.0001	0.20990 0.0047	0.20267 0.0064	0.04382 0.5592	0.20342 0.0062	0.13944 0.0619
% N	0.34113 <.0001	0.29380 <.0001	0.41468 <.0001	0.20414 0.0060	0.43559 <.0001	0.24945 0.0007	0.25667 0.0005	0.34308 <.0001	0.26236 0.0004	0.20615 0.0055
RG	-0.08388 0.2629	0.39093 <.0001	0.33582 <.0001	0.45357 <.0001	0.17314 0.0201	0.28659 <.0001	0.45918 <.0001	0.34192 <.0001	0.46704 <.0001	0.03322 0.6580
RB	-0.18033 0.0154	-0.03987 0.5952	-0.03077 0.6818	0.03900 0.6032	0.13256 0.0761	0.01804 0.8100	-0.23199 0.0017	-0.22306 0.0026	-0.04526 0.5463	0.03614 0.6301

trt=Tratamiento

ap= apical

md= media

bs= basal

h1, h2 y h3=Hoja 1,2 y 3.

% N=Porcentaje de nitrógeno en biomasa aérea a la cosecha

RB=Rendimiento de biomasa

RG=Rendimiento de grano

N3= % de N en planta a los 60 dds

## V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en la investigación realizada se generan las siguientes conclusiones;

- ❖ Respecto a las variables de crecimiento (altura, diámetro de tallo y número de hoja) no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos.
- ❖ En el análisis de clorofila la mayor concentración se encontró en la hoja uno, siendo el mejor periodo para realizar las mediciones a los 60 dds.
- ❖ La fertilización nitrogenada y el mungo tuvo efecto significativo sobre las variables de rendimiento (longitud de raquis, longitud de panoja, rendimiento de biomasa y grano).
- ❖ En los parámetros de nitrógeno en el grano, en la biomasa e incremento en el rendimiento de grano por kg de nitrógeno aplicado, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos
- ❖ El contenido relativo de clorofila (valor SPAD) se correlacionó con el contenido de nitrógeno en la biomasa a la cosecha, el % de nitrógeno contenido en el periodo (60 dds), y con el rendimiento de grano cuando la medición se realiza en la hoja 1.

## VI. Recomendaciones

- Para obtener rendimientos de grano satisfactorios ( $3,500 \text{ kg ha}^{-1}$ ) recomendamos la aplicación de  $66 \text{ kg N ha}^{-1}$  en esta línea ICSVLM-92512 y bajo estas condiciones.
- Para la realización del diagnóstico de deficiencia de nitrógeno con el clorofilómetro SPAD-502, las mediciones deben hacerse a los 60 dds, en la parte basal de la hoja uno, que esta inmediatamente superior a la totalmente formada y el valor SPAD no deberá ser menor de 32.16 para favorecer la producción de biomasa aérea y el rendimiento de grano a producir.
- En futuros estudios evaluar el aporte de nitrógeno y biomasa del abono verde utilizado.
  - Evaluar otros aspectos positivos que aportan los abonos verdes en los cultivos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Álvarez & Talavera. 1990.** Efecto de Cuatro Densidades Poblacionales y Cuatro Niveles de Nitrógeno en el Rendimiento de Sorgo. Variedad Pinolero. 12 p.
2. **Anónimo. 2007.** [HTML]. El Cultivo del Sorgo. <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>
3. **Blackmer, T. M y Schepers, J. S. 1995.** Use of Chlorophyll Meter to Monitor Nitrogen Status and Schedule Fertigation for Corn. Journal of Production Agriculture.
4. **Bock, B. R. 1984,** Efficient use of Nitrogen in Cropping Systems. Madison, WI. 294 p.
5. **Compton, L D. 1990** .Agronomía del Sorgo. ICRISAT/CIMMYT. India 301p.
6. **Carlson, P. S. 1990.** Biología de la Productividad de Cultivos. Instituto Superior de Ciencias Agropecuaria. Managua, NI. 413p.
7. **Cuadra, R. M. 1998.** Efecto de Diferentes Densidades de Siembra y Distancias entre Hileras Sobre el Crecimiento, Desarrollo y Rendimiento de Sorgo. Tesis Ing. Agrónoma. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 38p.
8. **Chevez, D. M. y Mendoza J. F. 2000.** Análisis de Sensibilidad de las Zonas de Vida de Holdridge en Nicaragua en Función de Cambios Climáticos. Tesis Ing. Agro. FARENA-Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 59p.
9. **Demolòn, A. 1975.** Principios de Agronomía. Crecimiento de los Vegetales Cultivados. Puebla y Educación. La Habana, Cuba 587p.
10. **Domingo, J. 2007.** Estrategias para Mejorar la Eficiencia de Nitrógeno como Fertilizante en Cultivo de Cereal [www.clarin.com/suplementos/rural/2005/07/16/r-00811.htm](http://www.clarin.com/suplementos/rural/2005/07/16/r-00811.htm).
11. **Domínguez, V. A. 1997.** Tratado de Fertilización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 37-44p.
12. **Dwyer, L. M. ; Anderson, A. M. ; MA, B. L.; Stewart, D. W.; Tollenaar, M. e Gregorich E. 1995.** Quantifying the Nonlinearity in Chlorophyll Meter Response to Corn Leaf Nitrogen Concentration. Canadian Journal of Plant Science 179-182p.
13. **Espinosa, A. 1992.** Evaluación de Generaciones F7 de Sorgo para Formación de Variedades Mejoradas en Nicaragua En XXXVIII Reunión Anual del PCCMCA. Managua, NI. 62-63p.

14. **FAO, 1995.** El Sorgo y el Mijo en la Nutrición Humana Roma, Italia. 197p.
15. **Fernández, R. 1995.** [http]. [www.envio.org.ni/articulo/116](http://www.envio.org.ni/articulo/116).
16. **Fontaneto H. (2001)** eficiencia del uso de nitrógeno en maíz con siembra directa, efecto de la densidad de siembra. primera edicion. Mexico, 25p.
17. **Fuentes, J. L. 1994.** El Suelo y los Fertilizantes. Mundi-Prensa, Madrid-España, 213 p.
18. **Handarson, G. 1990.** Empleo de Técnicas Nucleares en los Estudios de la Relación Suelo-Planta .OIEA, Viena.
19. **Herrera, M. y García, P. 2004.** Evaluación Agronómica y Uso Eficiente de Nitrógeno en 15 Líneas de Sorgo. (*Sorghum bicolor* L. Moench) con Dos Niveles de Fertilización Nitrogenada en el Municipio de Zambrano. Tesis Ing. Agronómica .UNA. FAGRO. Managua, NI. 42p.
20. **House, L. R. 1982.** El Sorgo: Guía para su Mejoramiento Genético, editorial Gaceta. SA.29, 30 p.
21. **INTA. 1999.** Cultivo del Sorgo. Guía tecnológica 5. Managua, NI. 23 p.
22. **INTA. 1995.** Cultivo del sorgo. Guía tecnológica 5. Managua, NI. 14 p.
23. **INETER. 2006.** Dirección General de Metodología. Resumen Meteorológico Diario del 2005. Estación Aeropuerto Internacional. Managua, NI. 23pag
24. **ISCA. 1984.** Seminario del Programa de Ciencias de las Plantas. Managua, NI. 23p.
25. **Lang, P. y Mallet. 1987.** The Effect of Nitrogen of Tillage System and Time of Nitrogen Application on Sorghum Performance on a Sandy Avalo. Plante soil. 130p.
26. **León, L. 1987.** Fundamentos Botánicos de los Cultivos Tropicales. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, San José, Costa Rica, 203p.
27. **MAGFOR, 2006.** Evaluación del Ciclo Agrícola 2005-2006 y Proyecciones. Managua, NI. 11p.
28. **MAG. 1971.** Guía Técnica Para la Producción de Sorgo .Managua, NI. 32p.
29. **Manzanares & Calero, 2004.** Evaluación Agronómica y Uso Eficiente de Nitrógeno de Doce Líneas de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). San Ramón, Matagalpa Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 46 p.
30. **Morales, V. M. 2002.** Comportamiento de Generaciones f 5 de Sorgo Granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). En Nicaragua. Tesis Ing.



Agr. Facultad de Desarrollo Rural.Universidad Nacional Agraria. Managua, NI.44 p.

31. **Novoa, R. y Villagrán, N. 2002.** Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en determinación de niveles foliares en maíz. Agricultura Técnica.
32. **Ortega B, 2002.** Bases Teóricas y su Aplicación para la Fertilización Nitrogenada en Cultivos. Centro de Agricultura de Precisión, Departamento de Ciencias Vegetales. Zamorano, Honduras. 56p.
33. **Ponce E. y Leiva M. 2007.** Evaluación Agronómica y Uso Eficiente de Nitrógeno en 15 Líneas de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con 2 Niveles de Fertilización Nitrogenada. Zambrano, Masaya. Tesis Ing. Agrónomo FAGRO UNA. Managua, NI. 57 p.
34. **Salas H. P. ; E. Martellotto; E. Lovera ; A Salinas; P. Mazzini; L. Lingua y M. Bragachini.1998.** Riego y agricultura de precisión. Jornada de actualización. INTA. Manfredi Cba.
35. **Salmeron M, F. & García C. L. 1994.** Fertilidad y Fertilización de suelo. Texto básico Universidad Nacional Agraria, Managua, NI. 141p.
36. **Somarriba, R. C. 1998.** Texto de Granos Básicos. Escuela de Producción Vegetal. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 197 p.
37. **Urquiaga, S & Zapata. 2000.** Manejo Eficiente de la Fertilización Nitrogenada en Cultivos Anuales en América Latina y el Caribe. Porte Alegre. Génesis. Río de Janeiro. Brasil.9, 19 y 21pg.
38. **Valle K. J. & Toledo 2003.** Evaluación Agronómica de 24 Líneas de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el Municipio de Zambrano .Tesis. Escuela de producción Vegetal. Universidad Nacional Agraria Managua, NI. 11pag.
39. **Villalobos, A.M.2001** Políticas y Programas de Semillas en América Latina y el Caribe, FAO, Roma (ITALIA). 82p.
40. **Youngquist, J. B. Bramel, P. & Maranville, J. W. 1992.** Evaluation of Alternative Screening Criterion for Selecting Nitrogen-Use Efficient Genotypes in Sorghum. Crop Science. Vol.32, 1003 p.